

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh zařízení pro vypírku spalin

Proposal of Flue Gas Scruber

Student:

Bc. Marie Neumannová

Vedoucí diplomové práce:

Prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marie Neumannová**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh zařízení pro vypírku spalin**
Proposal of Flue Gas Scruber

Zásady pro vypracování:

Vypracujte projekční návrh technologického zařízení na čištění spalin ze spalovny nemocničního odpadu. Proveďte tepelný a hydraulický výpočet zařízení včetně výpočtu polosuché dvoustupňové pračky spalin. Projekt řešte s ohledem na předepsané limity tuhých a plyných emisí.

Jmenovitý výkon spalovny 400 kg/hod / Výhřevnost odpadu 18 MJ/kg- nemocniční odpad

Stabilizační palivo zemní plyn / Výhřevnost paliva 38 MJ/kg

Grafické práce budou obsahovat:

1. Projekční řešení dvoustupňové vypírky spalin
2. Detailní řešení rozprašovací trysky

Seznam doporučené odborné literatury:

Rédr, M., Příhoda, M.: Základy tepelné techniky. Praha. SNTL, 1991. ISBN 80-03-00366-0.

Sadik Kakac: Boilers, evaporators, condensers. John Wiley. USA. New York 1991. CIP 90-22486 v knihovně VŠB.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

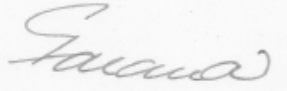
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 17.4.2011

..... Neumannová Marie
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 14.4.2011

Neumannová Marie
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Marie Neumannová

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bystřice 263

739 95 Bystřice nad Olší

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Neumannová, M. *Návrh zařízení pro vypírku spalin: diplomová práce*. Ostrava: VŠB

– Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2011, 45 s, Vedoucí práce: Kolát, P.

Diplomová práce se zabývá návrhem zařízení pro vypírku spalin ze spalovny nemocničního odpadu. V úvodní části je popsána legislativa v oblasti nakládání s odpady a následná tvorba emisí při spalování. V této diplomové práci popisují možné metody čištění spalin. Dále je proveden tepelný a hydraulický výpočet polosuché dvoustupňové pračky spalin. Čištění spalin je provedeno dvoustupňovým rozprašovacím absorbérem, polosuchou metodou vápenné vypírky a tkaninovým filtrem. Spaliny pak procházejí přes spalinový ventilátor do komína.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Neumannová, M. *Proposal of Flue Gas Scrubber: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy, 2011, 45 p. Thesis head: Kolát, P.

This thesis describes the design of equipment for flue gas from incineration of hospital waste. The introductory section describes the legislation in the field of waste and the subsequent formation of emissions during combustion. In this thesis, describing possible methods for cleaning flue gas. It is performed thermal and hydraulic calculation of the semi-stage gas washing. The flue gas cleaning is done with a two level spray absorber, semi-dry lime scrubbing method and filter cloth. Combustion gases then pass through the fan in the chimney flue.

OBSAH

Seznam použitých značek a symbolů	7
0. Úvod	10
1. Tvorba a emise při spalování odpadů	11
1.1 Znečišťující látky vznikající při spalování.....	11
1.2 Sledované škodliviny	12
2. Metody čištění spalin.....	15
2.1 Suchý proces čištění spalin	15
2.2 Mokrý proces čištění spalin.....	16
2.3 Polosuchý proces čištění spalin	17
3. Návrh rozprašovacího absorbéru.....	20
3.1 Stručný popis rozprašovacího absorbéru.....	20
3.2 Reakční doba polosuché vypírky	23
3.3 Délka reakční komory	26
3.4 Tryska sorbentu.....	29
3.5 Teplota spalin na výstupu z absorbéru.....	30
3.6 Příprava sorbentu	32
3.7 Návrh kompresoru a čerpadla.....	32
4. Návrh filtru spalin	33
5. Aerodynamické výpočty.....	34
5.1 Tlaková ztráta rozprašovacího absorbéru	34
5.2 Přestup spalin z prvního do druhého stupně absorbéru	37
5.3 Druhý stupeň absorbéru	39
5.4 Spojovací potrubí mezi rozprašovacím absorbérem a filtrem.....	40
5.5 Tlaková ztráta filtru spalin	38
6. Návrh spalínového ventilátoru.....	41
7. Komín	42
8. Regulace.....	42
9. Závěr.....	43
10. Seznam použité literatury.....	44
11. Seznam příloh	45

SEZNAM POPUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

SYMBOL	JEDNOTKA	VÝZNAM
V_{SP1}	$[m_N^3 \cdot s^{-1}]$	množství spalin vstupujících do absorbéru
V_{SP2}	$[m_N^3 \cdot s^{-1}]$	množství spalin vystupujících z absorbéru
$V_{SP, \min, o}$	$[m_N^3 \cdot s^{-1}]$	teoretické množství spalin z odpadu
$V_{vz, o, \min}$	$[m_N^3 \cdot s^{-1}]$	teoretické množství vzduchu pro odpad
$V_{sp, o, v}$	$[m_N^3 \cdot s^{-1}]$	teoretické množství vlhkých spalin z odpadu
$V_{sp, sk, o}$	$[m_N^3 \cdot s^{-1}]$	skutečné množství vlhkých spalin z odpadu
$V_{sp, celk, o}$	$[m_N^3 \cdot s^{-1}]$	celkové množství vlhkých spalin z odpadu
$V_{sp, F}$	$[m_N^3 \cdot s^{-1}]$	množství spalin jdoucích do filtru
Nu	[2]	Nusseltovo kritérium
Re	[2]	Reynoldsovo kritérium
Pr	[2]	Prandtlovo kritérium
L	[m]	délka potrubí
d	[m]	průměr potrubí
w_{sp}	[m/s]	rychlost proudění kapaliny
ρ	$[kg/m^3]$	hustota kapaliny
λ	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	tepelná vodivost
α	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla
ξ	$[kJ \cdot kg^{-1}]$	součinitel ztát místními odpory
η	[2]	účinnost
τ	[s]	doba ohřevu a vypaření kapky
a	[m]	charakteristický rozměr
a_{sp}	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	součinitel teplotní vodivosti látky
v_{sp}	$[m^2/s]$	kinematická viskozita kapalin
Q_i	$[kJ \cdot kg^{-1}]$	výhřevnost i-té složky odpadu
Q_s	[l.hod ⁻¹]	množství sorbentu
Dp	[m]	průměr reakční komory
D	[m]	maximální průměr kapky
D_t	[m]	průměr trysky
m_k	[kg]	hmotnost kapky
$c_{p, k}$	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita kapky
c_{sp}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita spalin

c_{sp}^p	$[kJ.kg^{-3}.K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita vodní páry
l_v	$[kJ.kg^{-1}]$	měrné výparné teplo kapky
m_o	$[kg.hod^{-1}]$	množství odpadu
m_p	$[kg.hod^{-1}]$	množství paliva
S_k	$[m]$	dráha pohybu klapky v rozprašovacím absorbéru
S_F	$[m^2]$	filtrační plocha
v_F	$[m.s^{-1}]$	filtrační rychlost
T_0	$[K]$	teplota spalin na vstupu do absorbéru
T_w	$[K]$	počáteční teplota kapky
T_{w1}	$[K]$	teplota kapky v předchozím časovém kroku
T_{w2}	$[K]$	konečná teplota kapky
T	$[K]$	absolutní teplota
t_1	$[^{\circ}C]$	vstupní teplota spalin z absorbéru
t_2	$[^{\circ}C]$	výstupní teplota spalin z absorbéru
t_v	$[^{\circ}C]$	vstupní teplota páry
t_v'	$[^{\circ}C]$	teplota varu vody
t_v''	$[^{\circ}C]$	teplota syté vodní páry
p	$[Pa]$	tlak vzduchu na vstupu do trysky
Δp	$[Pa]$	celková tlaková ztráta
Δp_{pp}	$[Pa]$	celková tlaková ztráta před rozpraš. absorbérem
Δp_{zm}	$[Pa]$	celková tlaková ztráta místními odpory
Δp_{zc}	$[Pa]$	celková tlaková ztráta ve spojovacím potrubí
Δp_{pzcF}	$[Pa]$	celková tlaková ztráta ve filtru
Δp_{pzRA}	$[Pa]$	celková tlaková ztráta v rozpraš. absorbéru
Δp_{ztr}	$[Pa]$	celková tlaková ztráta třením
Q_1	$[kW]$	vstup spalin
Q_2	$[kW]$	přívod vzduchu
Q_3	$[kW]$	přívod sorbentu
Q_4	$[kW]$	výstup spalin
TZL	$[mg/m^3]$	tuhé znečišťující látky
TOC	$[mg/m^3]$	organické látky v plynné fázi vyjádřené celkovým obsahem organ. uhlíku
O_2	$[mg/m^3]$	kyslík
SO_2	$[mg/m^3]$	oxid siřičitý

NO ₂	[mg/m ³]	oxid dusnatý a dusičitý vyjádřené jako NO ₂
HCl	[mg/m ³]	plynné sloučeniny chloru vyjádřené jako HCl
HF	[mg/m ³]	plynné sloučeniny fluoru vyjádřené jako HF
Cd	[mg/m ³]	kadmium a jeho sloučen. vyjádřené obsahem Cd
Tl	[mg/m ³]	thallium a jeho sloučeniny vyjádřené obsahem Tl
Hg	[mg/m ³]	rtuť a její sloučeniny vyjádřené obsahem Hg
As	[mg/m ³]	arzén a jeho sloučeniny vyjádřené obsahem As
Pb	[mg/m ³]	olovo a jeho sloučeniny vyjádřené obsahem Pb
Co	[mg/m ³]	kobalt a jeho sloučeniny vyjádřené obsahem Co
Cu	[mg/m ³]	měď a její sloučeniny vyjádřené obsahem Cu
Mn	[mg/m ³]	mangan jeho sloučeniny vyjádřené obsahem Mn
PCDD/F	[mg/m ³]	dioxiny, furany

0 ÚVOD

V současné době je téma životní prostředí hodně diskutováno. Je nutné řešit problematiku nakládání s odpady. S odpady, které nelze dále využít, může být nakládáno řadou postupů. Od skládkování až po termický proces. Na první pohled se skládkování jeví jako nejvhodnější způsob nakládání s odpady. Je však spojen s rozšiřováním infekcí, znečišťováním okolí, hromaděním.

Termický rozklad je nutný pro zamezení zatížení životního prostředí. Odpady se použijí jako druhotný energetický zdroj. Spálením odpadu vznikají znečišťující látky ve spalinách. Spaliny obsahují oxid uhelnatý, chlorovodíky, fluorovodíky, prachové částice. Mezi zbytkové odpady patří popel, popílek a škvára. K odstranění tuhých částic se používají látkové filtry nebo elektroodlučovače. Používají se suché, polosuché a mokré metody čištění spalin.

Tato práce se zabývá odsiřováním spalin nemocničního odpadu. Navrhla jsem ekoblok pro dvoustupňový rozprašovací absorbér, filtr a spalinový ventilátor. Použila jsem polosuchou metodu čištění spalin.

1. TVORBA A EMISE PŘI SPALOVÁNÍ ODPADŮ

Zákonodárny systém České republiky stanovuje výrobci nařízení, kde je povinen dodržovat emisní limity, podmínky pro provoz a konstrukci spalovacího zařízení:

Zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami. [7]

K procesům termického zneškodňování plyných látek z chemické výroby se vztahuje: vyhláška č. 354/2002 Sb. o zneškodňování nemocničních odpadů.

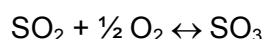
1.1 Znečišťující látky vznikající při spalování

Podle současné legislativy o ochraně ovzduší vznikají látky, které patří mezi znečišťující. Jedná se o tyto látky:

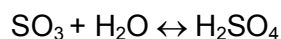
- oxid uhelnatý CO
- oxidy síry SO₂ a SO₃
- oxidy dusíku NO_x - NO, N₂O, NO₂
- organické látky - deoxiny, furany
- tuhé znečišťující látky -TZL
- těžké kovy
- halogenvodíky - HCl, HF

SO₂

Mezi hlavní škodlivinu patří SO₂, který částečně oxiduje na SO₃.



Následnou reakcí SO₃ s vodní párou dochází ke vzniku H₂SO₄.



Škodlivé následky SO₂ se projevují u člověka při koncentracích nad 1,0 mg.m⁻³. Zvláště citlivé na SO₃ jsou rostliny. Po překročení hranice koncentrace 0,4 mg.m⁻³ dochází k narušení fotosyntézy. Kyseliny H₂SO₄, H₂SO₃, HCO₃ a atmosférická vlhkost narušují kovové konstrukce, průmyslové zařízení a zdivo budov.

NO_x (NO a NO₂)

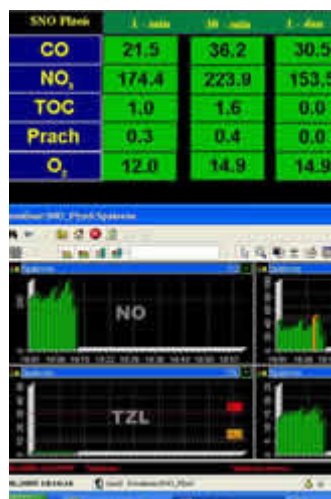
Tvoří se z dusíku v palivu a ve vzduchu při spalování. Při stoupající teplotě plamene jejich koncentrace roste. Přispívají ke vzniku fotochemického smogu. Zamořuje oblasti s velkou spotřebou tekutých a plyných paliv.

1.2 Sledované škodliviny

Spaliny ze zařízení obsahují řadu příměsí, které je potřeba před vypouštěním do ovzduší zachytit.

Při spalování nemocničního odpadu se měří hodnoty:

- teplota spalin, obsah kyslíku
- obsah TZL, CO, anorganických sloučenin Cl, SO₂, NO_x
- obsah anorganických sloučenin fluóru, organických látek
- obsah rtuti, thallia, kadmia, arzenu, niklu chromu, kobaltu, olova, mědi, manganu a jejich sloučenin
- součtový obsah dioxinů a furanů



Obr. č. 1, 2 Zařízení na kontinuální měření nečistot ve spalínách

Tab. č.1 Vlastnosti vybraných emisí [6]

Název	Označ.	Vznik	Vlastnosti
Oxid uhelnatý	CO	Při nedokonalém spalování uhlíku	bezbarvý, bez zápachu a nedráždivý plyn
Oxid uhličitý	CO₂	Při spalování fosilních i organických paliv	bezbarvý, nehořlavý, lehce kyselý plyn
Oxid siřičitý	SO₂	Převážně při spalování paliv obsahující síru	bezbarvý, štiplavý plyn
Oxid sírový	SO₃	V přítomnosti vzduchu naoxidované SO ₂	17 °C ledová pevná látka, bod varu při 45 °C
Oxid dusnatý	NO	Z organicky vázaného dusíku a vzdušného dusíku	hněděrudě produkt spalování
Oxid dusičitý	NO₂	Z NO ve spojení s kyslíkem při nízkých teplotách	hněděrudě, silně jedovatý produkt spalování
Oxid dusný	N₂O	Zatím jsou nejasné principy vzniku	narkotické účinky
Uhlovodíky	C_xH_y	Při nedokonalém spalování	chemické sloučeniny na základě uhlovodíku
Chlorované aromatické uhlovodíky	PCDD PCDF	Tvorba při přítomnosti Cl	silně toxické látky škodlivé životnímu prostředí
Částečky, prach	TZL	U téměř všech pevných paliv	jsou charakterizovány chem. složením a velikostí

Tab. č.2 Emisní limity pro spalování odpadů

Veličina	Způsob měření	Četnost měření	Limit koncentrací mg.m ⁻³
TZL	Kontinuálně	Kontinuálně 1 x ročně ověřit jednorázově	10 průměrná denní hodnota 30 průměrné půlhodiny 100 % A 10 průměrné půlhodiny 97 % B
TOC	Kontinuálně	Kontinuálně 1 x ročně ověřit jednorázově	10 průměrná denní hodnota 20 průměrné půlhodiny 100 % A 10 průměrné půlhodiny 97 % B
CO	Kontinuálně	Kontinuálně 1 x ročně ověřit jednorázově	50 průměrná denní hodnota 100 průměrné půlhodiny 100 %
O ₂	Kontinuálně	Kontinuálně 1 x ročně ověřit jednorázově	Není stanoven, slouží k výpočtům
SO ₂	Jednorázově	2x ročně	50 průměrná denní hodnota 200 průměrné půlhodiny 100 % A 50 průměrné půlhodiny 97 % B
NO ₂	Kontinuálně	Kontinuálně 1 x ročně ověřit jednorázově	400 průměrná denní hodnota ⁽¹⁾ 200 průměrná denní hodnota ⁽²⁾ 400 průměrné půlhodiny 100 % A 200 průměrné půlhodiny 97 % B
HCl	Jednorázově	2x ročně	10 průměrná denní hodnota 60 průměrné půlhodiny 100 % A 10 průměrné půlhodiny 97 % B
HF	Jednorázově	2x ročně	1 průměrná denní hodnota 4 průměrné půlhodiny 100 % A 2 průměrné půlhodiny 97 % B
Tl+ Cd	Jednorázově	2x ročně	0,05 ⁽³⁾
Hg	Jednorázově	2x ročně	0,05 ⁽³⁾
Sb+As+Pb+Co+ Cu+Mn+Ni+V	Jednorázově	2x ročně	0,05 ⁽³⁾
PCDD/F	Jednorázově	2 x ročně 1 jednotlivé měření	0,0001

⁽¹⁾ Pro stávající spalovny o jmenovité kapacitě nad 6 t/hod a nové spalovny. S platností nejdéle do 1.1. 2008 se emisní limit nevztahuje pouze na spalování nebezp. odpadu.

⁽²⁾ Pro stávající spalovny o jmenovité kapacitě do 6 t/hod.

⁽³⁾ Celkem 0,1 mg/m³ přípustné do 1.1. 2007 u stávajících zařízení, která byla uvedena do provozu před 31.12.1996 a která spalují pouze nebezpečné odpady.

2. METODY ČISTĚNÍ SPALIN

V odsiřovacích zařízeních nedochází jen k zachycení SO_2 , ale také škodlivin kyselého charakteru jako je HCl , HF .

Rozdělení podle hlediska regenerace činidla:

- regenerační - aktivní látka se po reakci s oxidem siřičitým regeneruje a vrací zpět do procesu, oxid siřičitý se dále zpracovává
- neregenerační - aktivní látka reaguje s SO_2 na dále využitelný nebo nevyužitelný produkt a zpět do procesu se nevrací

Rozdělení podle fáze:

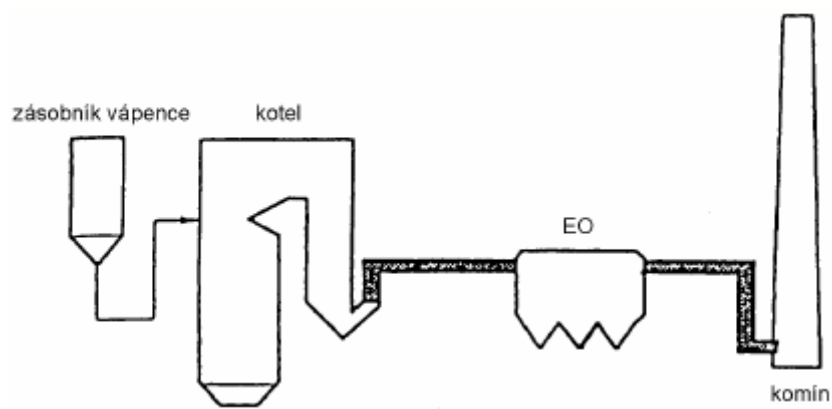
- mokré - SO_2 se zachycuje v kapalině nebo vodní suspenzi aktivní látky
- polosuché - aktivní látka je ve formě vodní suspenze vstřikována do proudu horkých spalin, kapalina se poté odpaří a produkt reakce se zachycuje v tuhém stavu
- suché - SO_2 reaguje s aktivní látkou v tuhém stavu. [citace]

2.1 Suchý proces čištění spalin

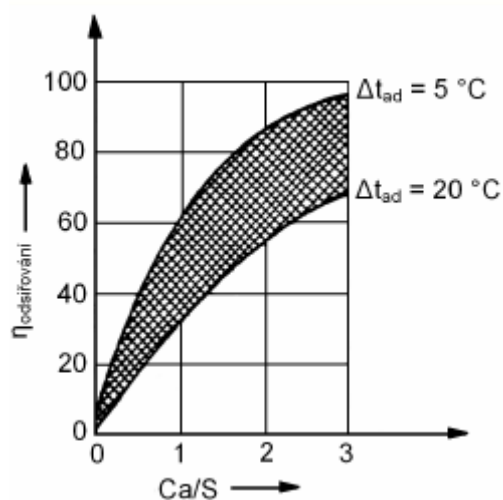
Spaliny jsou zchlazeny na $180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jsou vedeny do reaktoru. Do proudu spalin je v několika místech dávkován jemně mletý vápenný hydrát $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Dochází k reakci s kyselými složkami spalin (např. SO_2 , HCl , HF). Vznikají neutrální prachové látky, které jsou nejčastěji odlučovány v následném elektrofiltru a odvádějí se do deponií.

Výhodou této metody je, že nevznikají odpadní vody. Mezi nevýhody patří vznik velkého množství tuhých emisí. Předepsané limity jsou těžko dosažitelné. Účinnost této metody je velmi nízká. Tento proces čištění odcházejících spalin není perspektivní.

Schéma zařízení suché metody je v příloze A.



Obr. 3 Schéma suché metody čištění spalin



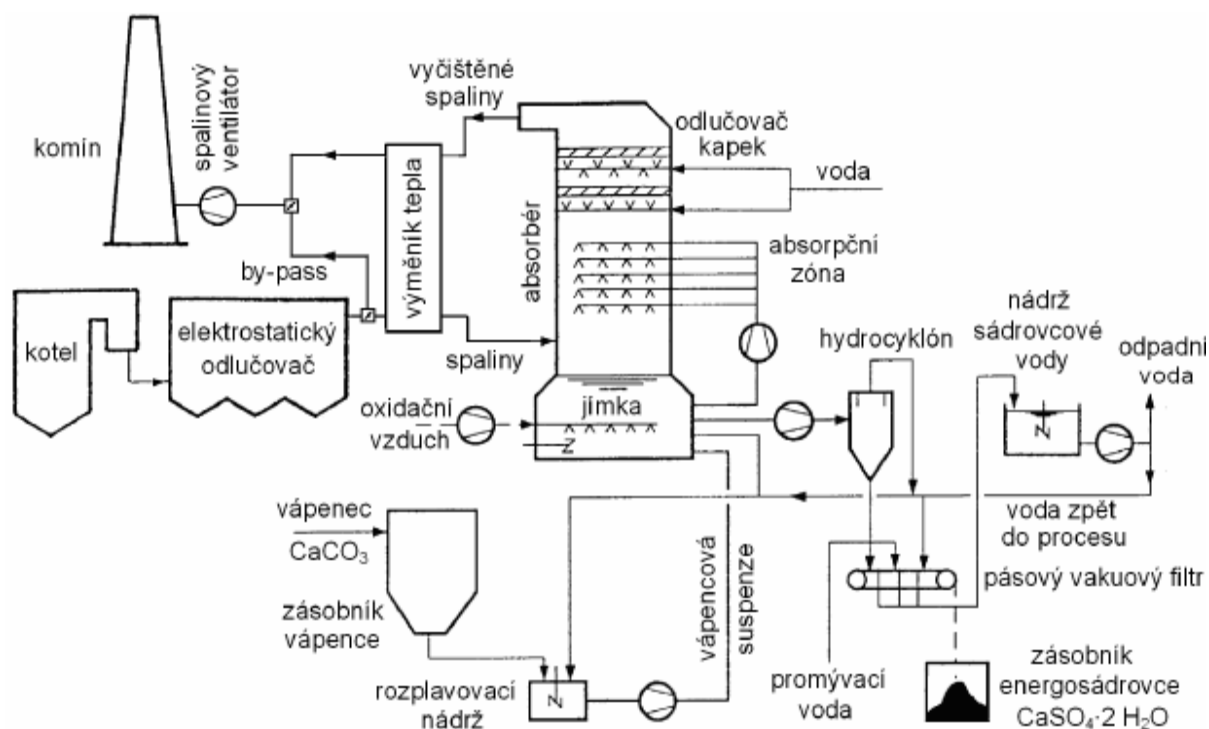
Obr. 4 Účinnost odsířování suché metody

2.2 Mokrá proces čištění spalin

Tato metoda je založena na mokřém sprchování proudu spalin odváděných ze spalovacího zařízení. V prvním stupni jsou spaliny zbaveny pevných prachových částic pomocí tkaninových filtrů nebo elektrostatických odlučovačů. V druhém stupni čištění jsou proudy spalin propírány ve sprchových pračkách s přidavkem vápenného mléka nebo hydroxidu sodného. Probíhá čištění spalin zejména od plynných kontaminujících látek mokřým vypíráním spalin vápennou suspenzí. Produkty tohoto čištění zůstávají ve vodním prostředí prací kapaliny. Produktem tohoto čištění jsou účinně přečištěné plynné spaliny a

znečištěná prací kapalina. Nevýhodou tohoto procesu je nutná likvidace znečištěné kapaliny ve speciálních čistících zařízeních.

Schéma zařízení mokré metody je v příloze A.



Obr. 5 Schéma mokré metody čištění spalin

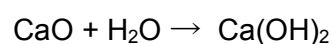
2.3 Polosuché procesy

Uspořádání tohoto procesu je podobné jako u suchého. Aktivní surovina - roztok vápenného hydrátu se rozstříkuje ve formě suspenze do proudu horkých spalin. Působením tepla se voda odpařuje při probíhajících chemických reakcích. Produkt reakcí se zachycuje v tuhém stavu spodní části reaktoru a pak v tkaninovém filtru nebo elektroodlučovači. Záchyt škodlivin je závislý na reakční schopnosti, která klesá v řadě SO_3 , HF, HCl, SO_2 , na jejich koncentraci, teplotě procesu, na aktivitě vápenné suspenze, na velikosti částic reakční suspenze a tedy na velikosti reakčního procesu. Zvýšení účinnosti odlučování lze zvýšit částečnou recirkulací. Zachycený produkt obsahuje 70 % popílku a 30 % tvoří produkty reakcí v pračce, tj. sírany, siřičitany, chloridy, fluoridy a nezreagovaný $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Vlastnosti a složení se liší podle odlučování popílku, podle obsahu nezreagovaného $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a podle

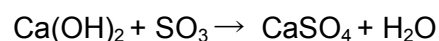
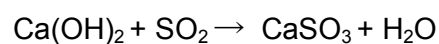
složení uhlí. Materiál je jemnozrný a suchý. Manipuluje se s ním jako s běžným popílkem. Popílek se využívá ve stavebnictví jako přísada tvárníc a cihel, směsného cementu nebo jako agloporit do betonu. Nebo se také ukládá na skládku. Přibližně 90 % popílku je zachycena odlučovačem a zbývající část je znehodnocena sirnými složkami a skladujeme ho na řízené skládce. Mezi výhody polosuché metody patří menší investiční náklady, nižší provozní náklady, nižší spotřeba energie a vody, jednodušší provedení zařízení jako celku, menší nároky na početnost personálu a údržbu. Mezi nevýhody patří zvýšená spotřeba sorbentu a zvýšení zatížení odlučovacího zařízení. [11]

Schéma zařízení polosuché metody je v příloze A.

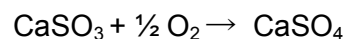
Tvorba vápenného mléka



Absorpce

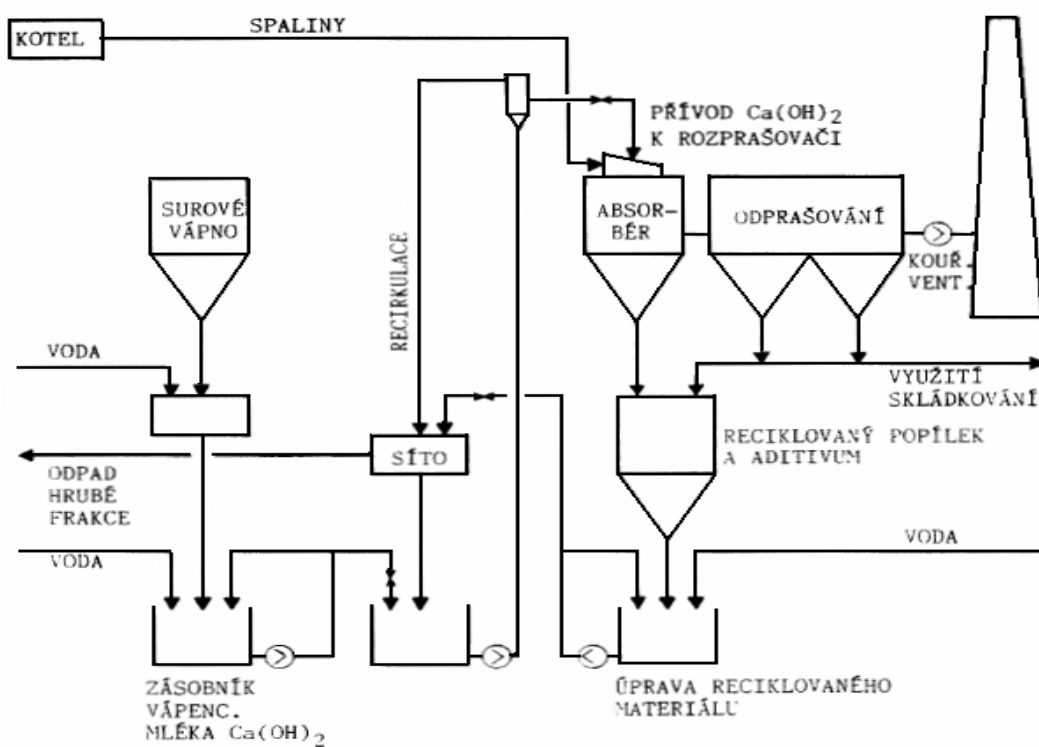


Oxidace

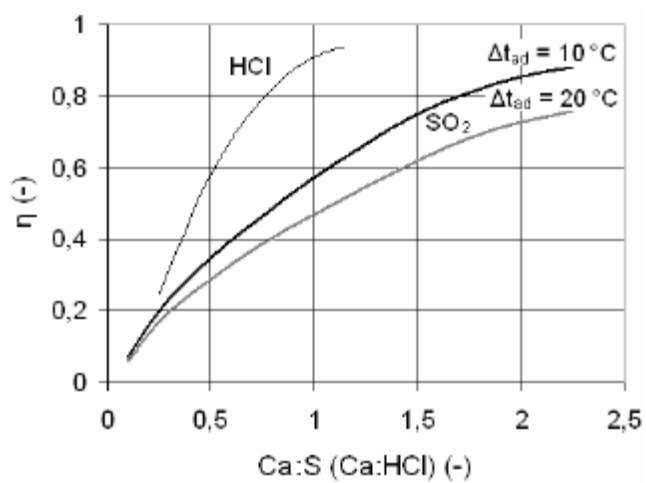


Výsledná rovnice





Obr. 6 Schéma polosuché metody čištění spalin



Obr. 7 Účinnost polosuché metody

3. NÁVRH ROZPRAŠOVACÍHO ABSORBÉRU

Pro svou práci navrhuji čištění spalin s použitím polosuché metody. Toto čištění se dělí na rozprášení vápenného sorbentu, jeho vypařování, reakci se spalinami a zachycení suchého produktu reakce na látkovém filtru. Kontakt mezi horkými spalinami a absorpčním povrchem dává správné podmínky pro rychlý přestup tepla i hmoty. Kyselé plyny (SO_2 , SO_3 , HF a HCl) zreagují na drobné kapičky. V proudu spalin se vysuší. Tento sypký produkt se zachycuje v tkaninovém filtru.

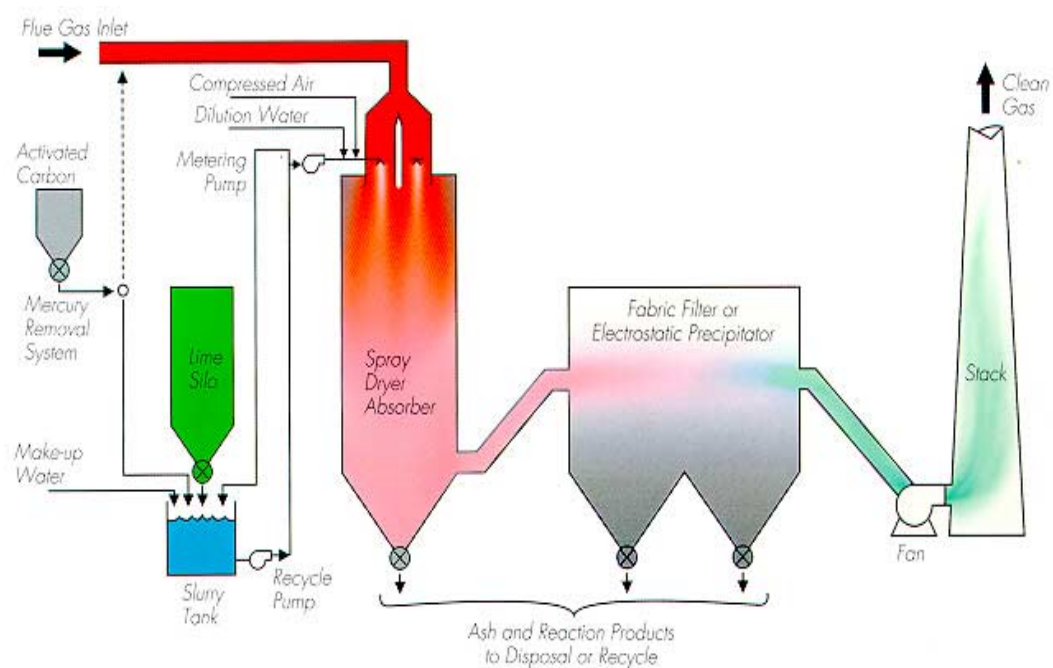
Mezi přednosti této metody se patří vysoká účinnost zachycení škodlivin při odlučování sloučenin síry, chlóru, fluoru a těžkých kovů (tato metoda se netýká rtuť). Další výhodou spočívá v její jednoduchosti. Při tomto procesu čištění nevznikají odpadní vody.

3.1 Stručný popis zařízení

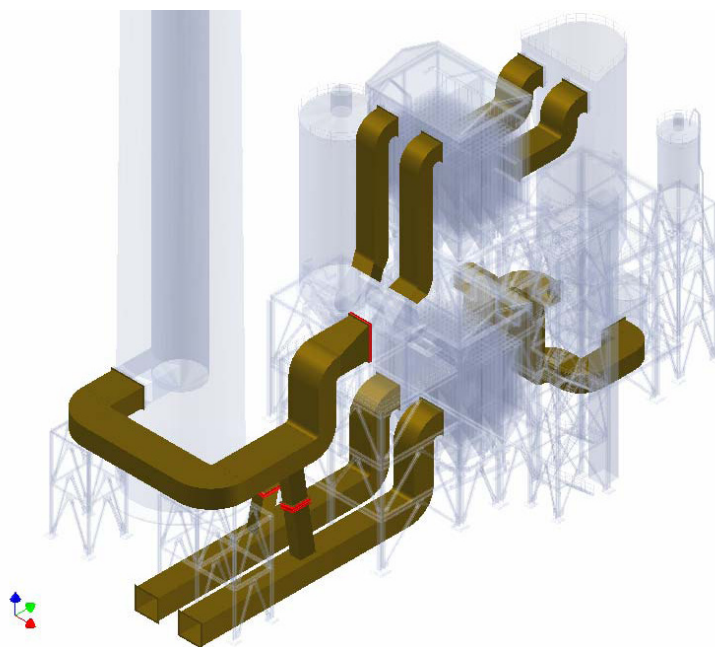
Pračka pracuje na svém vstupu při teplotách 230 - 250 °C. Před ekoblokem je zařazen výměník spalin (spaliny - vzduch). Spaliny o daných teplotách jsou vedeny do reaktoru. Dochází k chemické reakci, při které sorbent na sebe váže škodliviny ze spalin. Zároveň je sorbent vysušen a proudí do tkaninového filtru. Před vstupem do tkaninového filtru je měřena teplota spalin. Ochlazováním je udržována maximální teplota. V tkaninovém filtru se vysušený sorbent zachytává spolu s popílkem a je přes výsypku odváděn do popelnice. Vyčištěné spaliny proudí přes klapku řízení podtlaku a odtahového ventilátoru do komína.

Reaktor je válcová nádoba. Je vyrobená z oceli. Nádoba se sestává z výsypky a popelnice na zachycování popílku a úsad při čištění reaktoru. Dokonale rozprášení sorbentu zabezpečují tři rozprašovací trysky. Jsou umístěny nad výsypkou. Funkce závisí na viskozitě sorbentu a vody, na tlakových poměrech v trysce. Spojovacím kanálem je na reaktor připojena dosoušecí komora. Zaručuje dostatečnou reakční dobu pro chemické reakce.

Správné dávkování, rozmíchání, a dopravu sorbentu do rozprašovacích trysek zajišťuje systém přípravy sorbentu. Sestává se z dávkovacích čerpadel, míchací a plnicí nádrže a automatickým propláchnutím rozvodů. Bezpečnost provozu tkaninového filtru zajišťuje dochlazovací klapka. Zabraňuje popálení filtru.



Obr. 8 Schéma znázornění polosuché vypírky spalin [8]



Obr. 9 Kouřovody

Dopravu spalin mezi díly ekobloku zajišťují kouřovody. Jsou to ocelové svařence. Řízení podtlaku umožňuje otevírat a zavírat klapku ve stanovených mezích. Pokud dojde k překročení teploty v rozmezí 150 - 300 °C, otevře se klapka. Po ochlazení se klapka uzavře. Všechny automatické funkce ekobloku zajišťuje elektrorozváděč. Je propojen s elektrorozvaděčem bloku spalin.

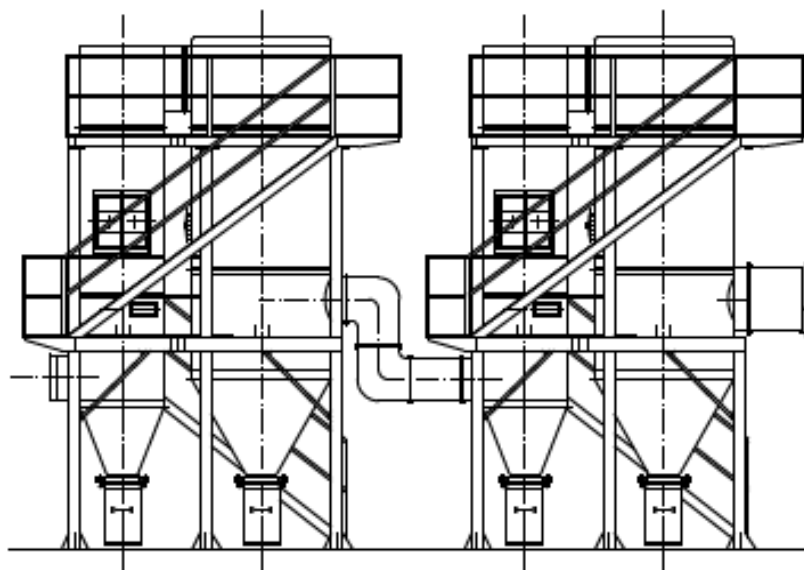
Při provozu ekobloku se sledují tyto hodnoty: teplota před a za reaktorem, hladina sorbentu v nádrži, tlakový vzduch, stav a funkce dávkovacího čerpadla a odpor tkaninového filtru.

Po dosažení vstupní teploty spalin se rozprašovací absorbér uvede automaticky do provozu. Dojde k otevření elektromagnetických ventilů stlačeného vzduchu a ke spuštění dávkovacích čerpadel sorbentu. Jsou vybaveny frekvenčními měniči. Podle potřebného množství sorbentu pro jednotlivé trysky se nastavení otáček čerpadla provede ručně. Pomocí klapky se provádí ochrana tkaninového filtru studeným vzduchem. Je umístěna před filtrem. Při poklesu teploty spalin se klapka spalin uzavře.

Při automatickém režimu se míchadlo automaticky zapíná a vypíná. Doba provozu v zapnutém stavu je 10 - 60 sekund. Hladinoměrem se kontroluje množství sorbentu. Na základě informací se doplňuje sorbent ze zásobní nádrže. Rozváděč má povinně zabezpečovací prvky (hlavní vypínač, jističe, ochrany motorů). Signalizace případných poruch je optická a akustická. [5]

Pračka spalin se skládá z těchto částí:

1. Reaktor
2. Dosoušecí komora
3. Vstupní kouřovod
4. Tři tlakové trysky
5. Rozvod stlačeného vzduchu
6. Zásobník vápna
7. Míchací nádrž
8. Dávkovací nádrž
9. Rozvod užitkové vody
10. Čidla vstupní a výstupní teploty spalin
11. Dávkovací čerpadla sorbentu DČ 1 - 3
12. Ventily automatického proplachu potrubí sorbentu EV 1,2
13. Elektrorozváděč



Obr. 10 Dvoustupňová polosuchá pračka spalin

3.2 Reakční doba polosuché vypírky

Do rozprašovacího absorbéru se přes trysku rozstříkuje vápenná emulze o teplotě 20° C. V první fázi dochází k ohřevu této teploty na teplotu vypařovací. Pro jednoduchost je vzata teplota vypařování vody za normálního stavu. Hmotnost kapky je konstantní. V druhé fázi dochází k vypařování kapky. Teplota je konstantní.

JPN-400

Jmenovitý výkon spalovny	400 kg/hod
Výhřevnost odpadů	18 MJ/kg (nemocniční odpad)
Stabilizační palivo	zemní plyn
Výhřevnost paliva	38 MJ/kg
Obsah vody v odpadu	20 %
Obsah vodíku v opadu	10 %
Obsah S v odpadu	1 %
Obsah Cl v odpadu	0,5 %

Teoretické množství spalin z odpadu

$$V_{sp, min, o} = 0,95 \cdot \frac{Q_i}{4187} + 1,375 = 0,95 \cdot \frac{180000}{4187} + 1,375 = 5,46 \text{ [m}_N^3/\text{kg]} \quad (3.1)$$

Teoretické množství vzduchu pro odpad

$$V_{vz, o, min} = 1,012 \cdot \frac{Q}{4187} + 0,5 = 1,012 \cdot \frac{18000}{4187} + 0,5 = 4,85 \text{ [m}_N^3/\text{kg]} \quad (3.2)$$

Teoretické množství vlhkých spalin z odpadu

$$\varphi = 1,05$$

$$V_{sp, o, v} = V_{sp, min, o} + V_{H_2O} = 5,46 + 1,63 = 7,09 \text{ [m}_N^3/\text{kg]} \quad (3.3)$$

$$V_{H_2O} = 11,1 \cdot H + 1,43 \cdot H_2O + (\varphi - 1) \cdot V_{vz, o, min} = 1,63 \text{ [m}_N^3/\text{kg]} \quad (3.4)$$

$$n_o = 2,2 \text{ (maximální celkový přebytek vzduchu)}$$

Skutečné množství vlhkých spalin z odpadu při 0 °C

$$V_{sp, sk, o} = V_{sp, o, v} + \varphi \cdot (n_o - 1) \cdot V_{vz, o, min} = 7,09 + 1,05 \cdot (2,2 - 1) \cdot 4,85 = 13,2 \text{ [m}_N^3/\text{kg]} \quad (3.5)$$

Celkové množství vlhkých spalin z odpadu pro daný výkon spalovny

$$V_{sp, celk, o} = m_o \cdot V_{sp, sk, o} = 400 \cdot 13,2 = 5280 \text{ [m}_N^3/\text{hod]} = 1,47 \text{ [m}_N^3/\text{s]} \quad (3.6)$$

Tepelný výkon z odpadu

$$N_{k, o} = m_o \cdot Q_i = 400 \cdot 18000 = 7,2 \text{ [GJ/h]} = 2 \text{ [MW]} \quad (3.7)$$

Q_i [MJ/kg]	30	22,5	18	15	12,85	11,25	10
m_o [kg/hod]	240	320	400	480	560	640	720

Tab. č. 3 Výkon spalovny podle výhřevnosti odpadu

Pozn. tabulka je sestavena je podle výhřevnosti, bez ohledu na spotřebu paliva i dalších vlastností odpadu.

Průtočné objemy ve spalovací peci1. komora – stechiometrické spalování

$$n_1 = 1,0$$

$$V_{vz1} = m_o \cdot n_1 \cdot V_{vz,o,min} = 400 \cdot 1 \cdot 4,85 = 1940 \text{ [Nm}^3\text{/hod]} = 0,54 \text{ [m}_N^3\text{/s]} \quad (3.8)$$

2. komora

přebytek vzduchu 150 %

$$n_2 = 2,5 \text{ (pro 25 \% odpadu)}$$

$$V_{vz2} = m_o \cdot n_2 \cdot V_{vz,o,min} \cdot 0,25 = 400 \cdot 2,5 \cdot 4,85 \cdot 0,25 = 1212,5 \text{ [Nm}^3\text{/hod]} = 0,34 \text{ [m}_N^3\text{/s]} \quad (3.9)$$

$$n_c = 2,2 \text{ - celkový přebytek vzduchu}$$

$$V_{vz,c,o} = m_o \cdot n_c \cdot V_{vz,o,min} = 400 \cdot 2,2 \cdot 4,85 = 4268 \text{ [Nm}^3\text{/hod]} = 1,19 \text{ [m}_N^3\text{/s]} \quad (3.10)$$

1. a 2. komora

$$V_{vz2} = 1940 + 1212,5 = 3152,5 \text{ [Nm}^3\text{/hod]} = 0,88 \text{ [m}_N^3\text{/s]} \quad (3.11)$$

Dohořivací hořák

Výkon dohořivacích hořáků je 1500 kW. [9]

Spotřeba paliva pro dosažení 1200 °C je 192 m_N³/hod.

Množství vlhkých spalin z paliva

$$V_{spv,p} = V_{p2} \cdot V_{sp,v,p} = 192 \cdot 11,59 = 2225 \text{ [Nm}^3\text{/hod]} = 0,61 \text{ [m}_N^3\text{/s]} \quad (3.12)$$

$$V_{sp,v,p} = n_p \cdot V_{vz,min,p} + V_{H_2O} = 1,05 \cdot 10,03 \cdot 1,06 = 11,59 \text{ [m}_N^3\text{/m}_N^3\text{]} \quad (3.13)$$

$$V_{vz,min,p} = 0,264 \cdot Q_i = 0,264 \cdot 38 = 10,03 \text{ [m}_N^3\text{/m}_N^3\text{]} \quad (3.14)$$

$$V_{H_2O} = 0,38 \cdot 0,0179 \cdot Q_i = 0,38 \cdot 0,0179 \cdot 38 = 1,06 \text{ [m}_N^3\text{/m}_N^3\text{]} \quad (3.15)$$

Celkové množství vlhkých spalin z paliva

$$V_{sp,c} = V_{sp,celk,o} + V_{spv,p} = 5280 + 2225 = 7505 \text{ [m}_N^3\text{/hod]} = 2,08 \text{ [m}_N^3\text{/s]} \quad (3.16)$$

Střední teplota spalin v absorběru

$$T_{sp2} = 200 \text{ °C}$$

$$V_{sp2} = V_{sp,c} \cdot \frac{473}{273} = 26725 \text{ [m}_N^3/\text{hod]} = 7,79 \text{ [m}_N^3/\text{s]} \quad (3.17)$$

Objem reaktoru a dosušovací komory pračky spalin je 21,2 m³.

Reakční doba polosuché vypírky je $\tau = 21,2/7,79 = 2,85 \text{ sec. [4]}$

3.3 Délka reakční komory

Pro správnou funkci rozprášení sorbentu se použijí tři trysky. Tyto trysky rozprašují sorbent stlačeným vzduchem o 0,9 MPa. Spotřeba vzduchu pro rozstříkávání sorbentu je 150 m³/hod pro 360 l/hod sorbentu. Úhel rozprašování je 30 – 35 °C.

Rozdělení úseku dráhy kapky:

- 1) ohřev na teplotu vypařování
- 2) vypařování kapky (hmotnost kapky klesá)

Rychlost vzduchu pro tlak $p = 0,9 \text{ MPa}$

Množství vzduchu je 50 m³/hod pro jednu trysku

Rychlost sorbentu vystupující z trysky je 0,5 m/s

Výstupní výsledná rychlost kapky je 118 m/s. Tato rychlost je určena ze zákona o zachování hybnosti.

Měřicími sondami se určuje velikost kapek např. optická, elektrická, fotografická. Díky tomuto měření určíme střední průměr kapek. Je závislý na tvaru trysky, rychlosti kapky a vlastnostech sorbentu. Pračka je navržena tak, aby byla funkční ve vymezené oblasti. Tato oblast byla vymezena podle výpočtu maximálního průměru modelové kapaliny. Byla podrobně zpracována v práci VŠB-TU Ostrava. Výpočet byl proveden pro modelovou kapalinu.

Rychlost na vstupu [m/s]	Maximální průměr kapky [μm]
50	414
150	92
200	54
250	36
300	30
500	8

Tab. č. 4 Tabulka výsledků

Pro rychlostní poměry v trysce je maximální průměr kapky 182 μm .

a) První stupeň rozprašovacího absorberu

Součinitel přestupu tepla

$$\alpha = \text{Nu} \cdot \lambda_{\text{sp}} / D \quad (3.18)$$

Nusseltovo kritérium je určeno ze vztahu

$$\text{Nu} = 2 + 0,552 \cdot \text{Re}^{0,5} \cdot \text{Pr}^{0,33} \quad (3.19)$$

$$\text{Reynoldsovo kritérium } \text{Re} = w \cdot D / \nu_{\text{sp}} \quad (3.20)$$

Prandtlovo kritérium

$$\text{Pr} = \nu_{\text{sp}} / a_{\text{sp}} \quad (3.21)$$

Pro hustotu spalin 0,708 kg/m³, teplotě 240 °C a tlaku 0,1 MPa odečteme z tabulek kinematickou viskozitu $\nu_{\text{sp}} = 37 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, tepelnou vodivost $\lambda_{\text{sp}} = 0,045 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, měrnou tepelnou kapacitu $c_{\text{sp}} = 1,4 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}$.

$$\text{Re} = 579$$

$$\text{Pr} = 0,78$$

$$\text{Nu} = 14,23$$

$$\text{Součinitel přestupu tepla } \alpha = 3525 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Tepelná bilance kapky (dobu kdy dojde k ohřátí kapky) z 20° na 100 °C.

$$\alpha \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (T_o - T_{w1}) = c_{p,k} \cdot m_k \cdot (T_{w2} - T_w) / \tau \quad (3.22)$$

$$\tau = 0,0168 \text{ [s]}$$

Přenos tepla při vypařování kapky

$$m_k \cdot l_v / \tau = \alpha \cdot S_k \cdot T \quad (3.23)$$

$$\tau = 0,195 \text{ [s]}$$

Celková doba pro ohřev a vypařování

$$\tau = 0,2123 \text{ [s]} \quad (3.24)$$

b) Druhý stupeň rozprašovacího absorberu

Pro hustotu spalin 0,708 kg/m³, teplotě 150 °C a tlaku 0,1 MPa odečteme z tabulek kinematickou viskozitu $\nu_{sp}=29,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, tepelnou vodivost $\lambda_{sp}=0,0375 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, měrnou tepelnou kapacitu $c_{sp}=1,38 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}$.

$$Re = 721$$

$$Pr = 0,77$$

$$Nu = 15,6$$

$$\text{součinitel přestupu tepla } \alpha = 3211 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$$

Tepelná bilance kapky

$$\alpha \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (T_o - T_{w1}) = c_{p,k} \cdot m_k \cdot (T_{w2} - T_w) / \tau \quad (3.25)$$

$$\tau = 0,036 \text{ [s]}$$

Přenos tepla při vypařování kapky

$$m_k \cdot l_v / \tau = \alpha \cdot S_k \cdot T \quad (3.26)$$

$$\tau = 0,32 \text{ [s]}$$

Celková doba pro ohřev a vypařování je = 0,376 [s].

τ [s]	w [m/s]	τ [s]	w [m/s]	τ [s]	w [m/s]
0,00	118,00	0,0225	31,640	0,16	4,056
0,0025	90,89	0,25	28,7	0,18	3,652
0,005	73,97	0,03	21,93	0,2	3,311
0,0075	62,22	0,04	16,667	0,22	3,014
0,01	53,81	0,06	12,504	0,24	2,76
0,0125	47,37	0,08	9,46	0,26	2,53
0,0150	42,33	0,1	6,87	0,28	2,2332
0,0175	38,26	0,12	5,53	0,316	1,976
0,02	34,9	0,14	4,684		

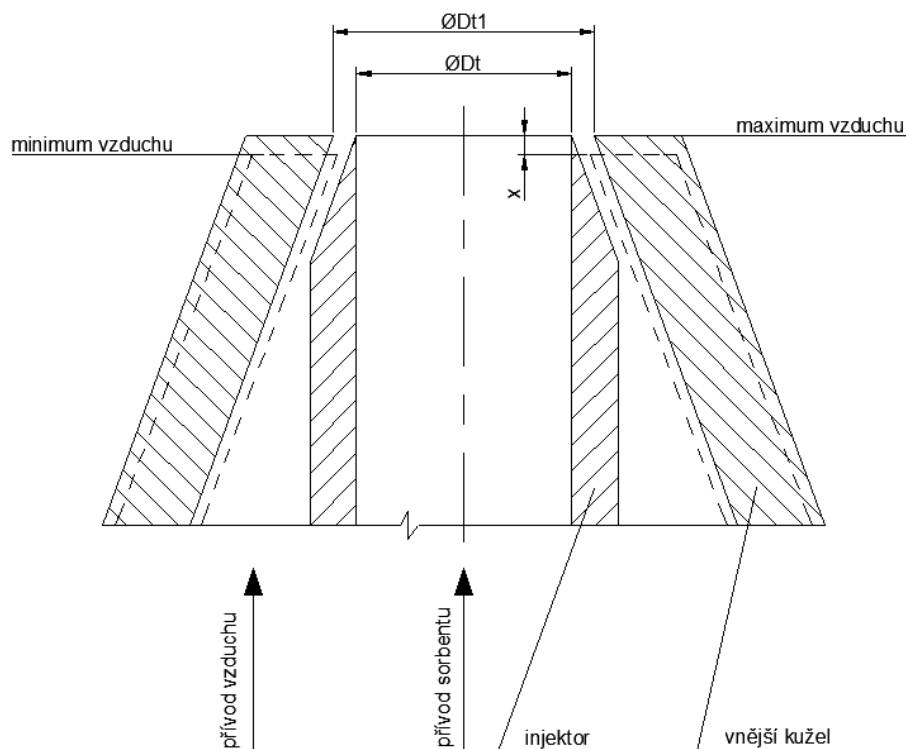
Tab. č. 5 Střední rychlosti a dílčí dráhy v určitých časových krocích

V reaktoru prvního stupně rozprašovacího absorbéru je celková doba ohřátí a vypaření 0,2123 s. Kapka urazí 2,821 m. Ve druhém stupni rozprašovacího absorbéru je celková doba ohřátí a vypaření 0,376 s. Kapka urazí 4,996 m.

Průměr reakční komory se volí tak, aby doba setrvání spalin byla min 11 s. Je to nutná doba k odstranění SO_2 , HCL, CL. Stření objem spalin je $7,79 \text{ m}^3/\text{s}$ pro $t_{\text{stř}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$. Doba setrvání spalin se vypočítá jako součet setrvání ve vnitřní komoře o průměru reaktoru 1200 mm a délce 3500 mm a dosoušecí komoře o průměru 2000 mm a délce 3500 mm. Celková doba setrvání spalin v reaktoru je 12,6 s při spalování nemocničního odpadu.

V případě navržené pračky vychází výstupní teplota spalin $150 - 220 \text{ }^\circ\text{C}$. Tuto teplotu je nutno vyhodnotit vzhledem k rosnému bodu. Na něho má velký vliv obsah síry v palivu. Zvýšení síry o 1% může způsobit zvýšení teploty t_r o $20 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Pokud by došlo k podkročení rosného bodu, doplníme jej přidavným hořákem.

3.4 Tryska sorbentu



Obr.11 Detail ústí trysky

Tryska pro rozprášení sorbentu musí mít splňovat několik kritérií. Musí dojít k dokonalému rozprášení sorbentu a promísení se spaliny. K rozstříkávání sorbentu použijeme vzduch, který má tlak 0,9 MPa. Spotřeba vzduchu pro rozstříkávání sorbentu bude 17 m³/hod pro maximálně 40 l/hod. A 35 m³/hod pro 75 l/hod.

Vnitřní průměr trysky je $D_t = 6$ mm, $D_{t1} = 6,8$ mm. Úhel rozprášení je 30 – 35°. Hodnota x znamená posunutí vnějšího kužele z minimální hodnoty. Jeho velikost je 0,4 mm.

3.5 Teplota spalin na výstupu z absorberu

Z energetické bilance určím teplotu spalin.

$$Q_1 + Q_2 + Q = Q_4 + Q_{ztr} \quad [\text{kW}] \quad (3.27)$$

$$Q_1 = V_{sp1} \cdot c_{sp1} \cdot t_1 \quad [\text{kW}]$$

$$Q_2 = V_{vzd} \cdot c_{vzd} \cdot t_{vzd} \quad [\text{kW}]$$

$$Q_3 = m_v \cdot c_p^v \cdot t_v - m_v \cdot c_p^v \cdot t_v - m_v \cdot l_v - m_v \cdot c_p^p \cdot t_v'' \quad [\text{kW}]$$

$$Q_4 = V_{sp2} \cdot c_{sp2} \cdot t_2 - V_{vzd} \cdot c_{vzd} \cdot t_2 + m_v \cdot c_p^p \cdot t_2 \quad [\text{kW}]$$

Po dosazení do bilanční rovnice, vyjádřím teplotu spalin na výstupu z absorbéru

$$t_2 = \frac{0,9 \cdot V_{sp1} \cdot c_{sp1} \cdot t_1 - m_v \cdot \left[c_p^v \cdot (t_v' - t_v) + l_v + c_p^p \cdot t_v'' \right]}{V_{sp2} \cdot c_{sp2} + m_v \cdot c_p^p} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.28)$$

a) Výstupní teplota z prvního stupně rozprašovacího absorbéru

Hodnoty fyzikálních veličin spalin a vody jsou pro vstupní teplotu 250 °C, pro výstupní teplotu 190 °C a pro teplotu varu 100 °C. [1]

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{18} \cdot m_v = \frac{22,4}{18} \cdot 170,25 = 211,87 \left[\text{m}^3/\text{hod} \right] = 0,059 \left[\text{m}^3/\text{s} \right] \quad (3.29)$$

$$V_{sp2} = 7,79 + 0,0097 + 0,059 = 7,858 \left[\text{m}^3/\text{s} \right] \quad (3.30)$$

$$t_{2I} = \frac{0,9 \cdot 7,79 \cdot 1,41 \cdot 250 - 0,047 \cdot \left[4,18 \cdot (100 - 20) + 2257 + 2,05 \cdot 100 \right]}{7,858 \cdot 1,39 + 0,047 \cdot 1,98} \quad (3.31)$$

$$t_{2I} = 214,5 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

b) Výstupní teplota z druhého stupně rozprašovacího absorbéru

$$t_{2II} = \frac{0,9 \cdot 7,878 \cdot 1,38 \cdot 214,5 - 0,047 \cdot \left[4,18 \cdot (100 - 20) + 2257 + 2,05 \cdot 100 \right]}{7,927 \cdot 1,38 + 0,047 \cdot 1,98} \quad (3.32)$$

$$t_{2II} = 180 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

U výstupní teploty spalin z absorberu nesmí dojít k poklesu teploty spalin pod hodnotu rosného bodu. Vzniklý kondenzát při teplotě pod hranicí rosného bodu obsahuje agresivní kyseliny. Jsou to H_2CO_3 , H_2SO_3 a H_2SO_4 . Působí agresivně na ocelové součásti zařízení. Největší vliv na teplotu rosného bodu má obsah síry v palivu a přebytek vzduchu ve spalinách. V této práci probíhá spalování s obsahem síry do 2% při přebytku vzduchu $\eta_{\max} = 2$. Hodnota rosného bodu je do 80°C . V případě poklesu teploty spalin dojde k zapnutí přídavného hořáku. Je umístěn za druhým stupněm absorberu. Použití tohoto pomocného hořáku je limitováno přípustnou hodnotou spalin jsoucí do látkového filtru. Tato hodnota je 220°C .

3.6 Příprava sorbentu

Příprava sorbentu zajišťuje dávkování, rozmíchání a dopravu sorbentu do trysek. Je vybaven dvěma dávkovacími čerpadly, míchací a plnicí nádrží. Míchání sorbentu je v nádrži o objemu 2 m^3 . Výrobce doporučuje plnění do $\frac{3}{4}$ objemu nádrže. Nádrž na vodu má objem 1 m^3 . Poměr 1:4 je míchání hydroxidu vápenatého s vodou. Spotřeba $\text{Ca}(\text{OH})_2$ je 93,44 kg. Spotřeba H_2O je 340 /hod.

3.7 Návrh kompresoru a čerpadla

Stlačení vzduchu o tlaku 0,9 MPa a množství $150\text{ m}^3/\text{hod}$ bude zajišťovat šroubový kompresor. Je to kompaktní soustrojí s pohonem elektromotorem pomocí řemenu. Kompresorová stanice se sestává ze šroubového soustrojí, elektromotoru, vstupního filtru, odlučovače oleje, chladiče oleje a vzduchu.

Speciálními čerpadly je dopravován sorbent do trysek. Na každou trysku připadá jedno čerpadlo.

4. NÁVRH FILTRU SPALIN

Slouží k zachycení tuhých částic ze spalin.

Velikost filtrační plochy:

$$V_{spF} = V_{sp} \cdot \frac{T_F}{T_N} = 7,79 \cdot \frac{424}{273} = 12,07 \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (4.1)$$

Výstupní teplota spalin je 180 °C.

Filtrační plochu určím z množství spalin vstupujících do filtru:

$$S_F = \frac{V_{spF}}{V_F} = \frac{12,07}{2,5 \cdot 10^{-2}} = 482,8 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.2)$$

Pro návrh filtru jsem vybrala firmu ZVVZ-Enven Engineering, a.s., Milevsko. Navrhuji filtr EFP-1-3,5-286-D6. Filtr je určen pro odlučování tuhých znečišťujících látek obsažených ve vzdušině, které netvoří se vzduchem výbušnou směs.

Katalogový list filtru je v příloze B.

Technické parametry filtru:

Filtrační plocha 493 m²

Počet filtračních hadic 286 ks

Průtokové množství 2,45 cm/s

Hodnota tlakové ztráty 4000 Pa

Doba pulzu 60 m/s

Doba mezi pulzy 30 s

Doba jednoho regeneračního cyklu 12 min

Životnost filtračních hadic max. 1 rok

Filtr je rozdělen na skříň a komoru čistého plynu a je vyroben jako vzduchotěsný ocelový svařenec. Součástí komory čistého plynu jsou víka pro výměnu filtračních hadic.

Dělicí rovinu mezi skříní a komorou tvoří trubkovnice s otvory pro uchycení filtračních hadic. Filtrační hadice jsou upevněny v trubkovnici pomocí pružných planžet a uvnitř vložené podpěrné koše jsou fixovány Ventouriho trubicemi.

Odlučování prachu probíhá ve dvou fázích, větší a těžší částice jsou odloučeny změnou směru proudění vzdušiny ve výsypce a zbytek částic je odloučen na povrchu filtračních hadic. Jejich čištění (regenerace) se provádí krátkými pulsy stlačeného vzduchu. Regenerace probíhá na základě měření tlakové ztráty, tzn. stupně zanesení, v pevných časových intervalech, nebo v kombinaci obou možností. [10]

5. AERODYNAMICKÉ VÝPOČTY

Podtlak ve spalovně nemocničních odpadů zajišťuje spalinový ventilátor. Dochází k zamezení úniku škodlivin do ovzduší.

a) Tlaková ztráta třením

$$\Delta p_{ztr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} \text{ [Pa]} \quad (5.1)$$

Součinitel λ určím z Jakimonova vztahu pro hodnoty $Re < 10^5 - 10^8 >$ [2].

$$\lambda = \frac{0,857}{(\lg Re)^{2,4}} \quad [2] \quad (5.2)$$

$$Re = \frac{w_{sp} \cdot a}{v_{sp}} \quad [2] \quad (5.3)$$

b) Tlaková ztráta místními odpory

$$\Delta p_{zm} = \xi \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} \quad (5.4)$$

Celková tlaková ztráta je součtem třecích a místních ztát. [3]

5.1 Tlaková ztráta rozprašovacího absorbéru

$$V_{sp} = V_{spN} \cdot \frac{T}{T_N} = 7,79 \cdot \frac{523}{273} = 14,92 \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (5.5)$$

$$\rho_{sp} = 0,708 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v_{sp} = 37 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s]}$$

Přímé potrubí

$$d = 1,2 \text{ [m]}$$

$$L = 3,95 \text{ [m]}$$

$$w_{sp} = \frac{V_{sp}}{S} = \frac{7,79}{1,131} = 6,9 \text{ [m/s]} \quad (5.6)$$

$$Re = \frac{w_{sp} \cdot a}{\nu_{sp}} = \frac{6,9 \cdot 1,2}{37 \cdot 10^{-6}} = 2\,237\,841 \quad [2] \quad (5.7)$$

$$\lambda = \frac{0,857}{(\lg Re)^{2,4}} = \frac{0,857}{(\lg 223784)^{2,4}} = 0,0145 \quad [2] \quad (5.8)$$

$$\Delta p_{ztr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} = 0,0145 \cdot \frac{3,95}{1,2} \cdot \frac{6,9^2}{2} \cdot 0,708 = 0,85 \text{ [Pa]} \quad (5.9)$$

$$d = 0,9 \text{ [m]}$$

$$L = 0,6 \text{ [m]}$$

$$w_{sp} = \frac{V_{sp}}{S} = \frac{7,79}{0,636} = 12,25 \text{ [m/s]} \quad (5.10)$$

$$Re = \frac{w_{sp} \cdot a}{\nu_{sp}} = \frac{12,25 \cdot 0,9}{37 \cdot 10^{-6}} = 297\,853 \quad [2] \quad (5.11)$$

$$\lambda = \frac{0,857}{(\lg Re)^{2,4}} = \frac{0,857}{(\lg 297853)^{2,4}} = 0,0145 \quad [2] \quad (5.12)$$

$$\Delta p_{ztr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} = 0,0145 \cdot \frac{0,6}{10,9} \cdot \frac{12,25^2}{2} \cdot 0,708 = 0,513 \text{ [Pa]} \quad (5.13)$$

$$d = 2 \text{ [m]}$$

$$L = 2,405 \text{ [m]}$$

$$w_{sp} = \frac{V_{sp}}{S} = \frac{7,79}{3,14} = 2,48 \text{ [m/s]} \quad (5.14)$$

$$Re = \frac{w_{sp} \cdot a}{\nu_{sp}} = \frac{2,48 \cdot 2}{37 \cdot 10^{-6}} = 134\,034 \quad [2] \quad (5.15)$$

$$\lambda = \frac{0,857}{(\lg Re)^{2,4}} = \frac{0,857}{(\lg 134034)^{2,4}} = 0,01695 \quad [2] \quad (5.16)$$

$$\Delta p_{ztr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} = 0,01695 \cdot \frac{2,405}{10,9} \cdot \frac{2,48^2}{2} \cdot 0,708 = 0,044 \text{ [Pa]} \quad [2] \quad (5.17)$$

5.2 Přestup spalin z prvního do druhého stupně absorbéru

$$t_{sp} = 214,5 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\rho_{sp} = 0,847 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\nu_{sp} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

$$\text{Koleno } 90^\circ$$

$$d = 0,8 \text{ [m]}$$

$$\xi = 1$$

$$w_{sp} = \frac{V_{sp}}{S} = \frac{7,8587}{0,5} = 15,63 \text{ [m/s]} \quad (5.18)$$

$$\Delta p_{zm1+2} = 2 \cdot \xi \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} = 2 \cdot 1 \cdot \frac{15,63^2}{2} \cdot 0,847 = 206,92 \text{ [Pa]} \quad (5.19)$$

Přímé potrubí

$$d = 2 \text{ [m]}$$

$$L = 2,405 \text{ [m]}$$

$$w_{sp} = \frac{V_{sp}}{S} = \frac{7,8587}{0,5} = 15,63 \text{ [m/s]} \quad (5.20)$$

$$Re = \frac{w_{sp} \cdot a}{v_{sp}} = \frac{15,63 \cdot 0,8}{30 \cdot 10^{-6}} = 416800 \quad [2] \quad (5.21)$$

$$\lambda = \frac{0,857}{(\lg Re)^{2,4}} = \frac{0,857}{(\lg 416800)^{2,4}} = 0,0136 \quad [2] \quad (5.22)$$

$$\Delta p_{ztr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} = 0,0136 \cdot \frac{0,67}{0,8} \cdot \frac{15,63^2}{2} \cdot 0,847 = 1,179 \text{ [Pa]} \quad (5.23)$$

5.3 Druhý stupeň rozprašovacího absorbéru

$$V_{sp} = V_{spN} \cdot \frac{T}{T_N} = 7,708 \cdot \frac{487,5}{273} = 7,8587 \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (5.24)$$

$$\rho_{sp} = 0,847 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v_{sp} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

Přímé potrubí

$$d = 1,2 \text{ [m]}$$

$$L = 3,95 \text{ [m]}$$

$$w_{sp} = \frac{V_{sp}}{S} = \frac{7,8587}{1,131} = 6,95 \text{ [m/s]} \quad [2] \quad (5.25)$$

$$Re = \frac{w_{sp} \cdot a}{v_{sp}} = \frac{6,95 \cdot 1,2}{30 \cdot 10^{-6}} = 278000 \quad [2] \quad (5.26)$$

$$\lambda = \frac{0,857}{(\lg Re)^{2,4}} = \frac{0,857}{(\lg 278000)^{2,4}} = 0,0147 \quad [2] \quad (5.27)$$

$$\Delta p_{ztr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} = 0,0147 \cdot \frac{3,95}{1,2} \cdot \frac{6,95^2}{2} \cdot 0,847 = 0,989 \text{ [Pa]} \quad (5.28)$$

$$d = 0,9 \text{ [m]}$$

$$L = 0,6 \text{ [m]}$$

$$w_{sp} = \frac{V_{sp}}{S} = \frac{7,8587}{0,636} = 12,36 \text{ [m/s]} \quad (5.29)$$

$$Re = \frac{w_{sp} \cdot a}{v_{sp}} = \frac{12,36 \cdot 0,9}{30 \cdot 10^{-6}} = 371700 \quad [2] \quad (5.30)$$

$$\lambda = \frac{0,857}{(\lg Re)^{2,4}} = \frac{0,857}{(\lg 371300)^{2,4}} = 0,014 \quad [2] \quad (5.31)$$

$$\Delta p_{ztr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} = 0,014 \cdot \frac{0,6}{0,9} \cdot \frac{12,36^2}{2} \cdot 0,847 = 0,6 \text{ [Pa]} \quad (5.32)$$

$$d = 2 \text{ [m]}$$

$$L = 2,405 \text{ [m]}$$

$$w_{sp} = \frac{V_{sp}}{S} = \frac{7,8587}{3,14} = 2,5 \text{ [m/s]} \quad (5.33)$$

$$Re = \frac{w_{sp} \cdot a}{v_{sp}} = \frac{2,5 \cdot 2}{30 \cdot 10^{-6}} = 166667 \quad [2] \quad (5.34)$$

$$\lambda = \frac{0,857}{(\lg Re)^{2,4}} = \frac{0,857}{(\lg 166667)^{2,4}} = 0,0162 \quad [2] \quad (5.35)$$

$$\Delta p_{ztr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} = 0,0162 \cdot \frac{2,405}{10,9} \cdot \frac{2,5^2}{2} \cdot 0,847 = 0,052 \text{ [Pa]} \quad [2] \quad (5.36)$$

Celková tlaková ztráta v absorbéru

$$\Delta p_{zCA} = \sum \Delta p_{ztr} + \sum \Delta p_{zm} = 4,227 + 206,92 = 211,15 \text{ [Pa]} \quad (5.37)$$

5.4 Spojovací potrubí mezi rozprašovacím absorbérem a filtrem

$$V_{sp} = 7,9274 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$t_{sp} = 214,5 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\rho_{sp} = 0,843 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v_{sp} = 27 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

$$3 \times \text{Koleno } 90^\circ$$

$$d = 0,8 \text{ [m]}$$

$$\xi = 1$$

$$w_{sp} = \frac{V_{sp}}{S} = \frac{7,9274}{0,5} = 15,77 \text{ [m/s]} \quad (5.38)$$

$$\Delta p_{zm1+2} = 3 \cdot \xi \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} = 3 \cdot 1 \cdot \frac{15,77^2}{2} \cdot 0,843 = 308,9 \text{ [Pa]} \quad (5.39)$$

Přímé potrubí

$$d = 0,8 \text{ [m]}$$

$$L = 14,6 \text{ [m]}$$

$$w_{sp} = \frac{V_{sp}}{S} = \frac{7,9274}{0,5} = 15,77 \text{ [m/s]} \quad (5.40)$$

$$Re = \frac{w_{sp} \cdot a}{v_{sp}} = \frac{15,77 \cdot 0,8}{27 \cdot 10^{-6}} = 467259 \quad [2] \quad (5.41)$$

$$\lambda = \frac{0,857}{(\lg Re)^{2,4}} = \frac{0,857}{(\lg 467259)^{2,4}} = 0,0133 \quad [2] \quad (5.42)$$

$$\Delta p_{ztr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} = 0,0133 \cdot \frac{14,6}{0,8} \cdot \frac{15,77^2}{2} \cdot 0,843 = 25,5 \text{ [Pa]} \quad [2] \quad (5.43)$$

Celková tlaková ztráta v absorbéru

$$\Delta p_{zc} = \sum \Delta p_{ztr} + \sum \Delta p_{zm} = 25,5 + 308,9 = 334,4 \text{ [Pa]} \quad (5.44)$$

5.5 Tlaková ztráta spalínPotrubí z filtru do spalínového ventilátoru

3 x koleno 90 [°]

 $d = 0,8 \text{ [m]}$ $\xi = 1$

$$w_{sp} = \frac{V_{sp}}{S} = \frac{7,9274}{0,5} = 15,77 \text{ [m/s]} \quad (5.45)$$

$$\Delta p_{zm} = 3 \cdot \xi \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} = 3 \cdot 1 \cdot \frac{15,77^2}{2} \cdot 0,843 = 314,52 \text{ [Pa]} \quad (5.46)$$

Přímé potrubí $d = 0,8 \text{ [m]}$ $L = 7,8 \text{ [m]}$

$$w_{sp} = \frac{V_{sp}}{S} = \frac{7,9274}{0,5} = 15,77 \text{ [m/s]} \quad (5.47)$$

$$Re = \frac{w_{sp} \cdot a}{\nu_{sp}} = \frac{15,77 \cdot 0,8}{27 \cdot 10^{-6}} = 467259 \quad [2] \quad (5.48)$$

$$\lambda = \frac{0,857}{(\lg Re)^{2,4}} = \frac{0,857}{(\lg 467259)^{2,4}} = 0,0133 \quad [2] \quad (5.49)$$

$$\Delta p_{ztr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp} = 0,0133 \cdot \frac{7,8}{0,8} \cdot \frac{15,77^2}{2} \cdot 0,843 = 13,59 \text{ [Pa]} \quad (5.50)$$

Celková tlaková ztráta ve spojovacím potrubí

$$\Delta p_{zc} = \sum \Delta p_{ztr} + \sum \Delta p_{zm} = 13,59 + 314,52 = 328,11 \text{ [Pa]} \quad (5.51)$$

Celková tlaková ztráta

$$\Delta p = \Delta p_{pp} + \Delta p_{zCA} + \Delta p_{zc} + \Delta p_{zCF} = 900 + 211,15 + 662,51 + 4000 = 5773,7 \text{ [Pa]} \quad (5.52)$$

6. Návrh spalínového ventilátoru

Pro návrh spalínového ventilátoru jsem vybrala firmu ZVVZ MACHINERY, a.s., Milevsko. Navrhuji vysokotlaký radiální ventilátor RVM 900-5/1.00-2975 PM123334. Dopravuje spaliny bez abrazivních příměsí o teplotě od -20°C do $+250^{\circ}\text{C}$. [10]

Technické parametry ventilátoru:

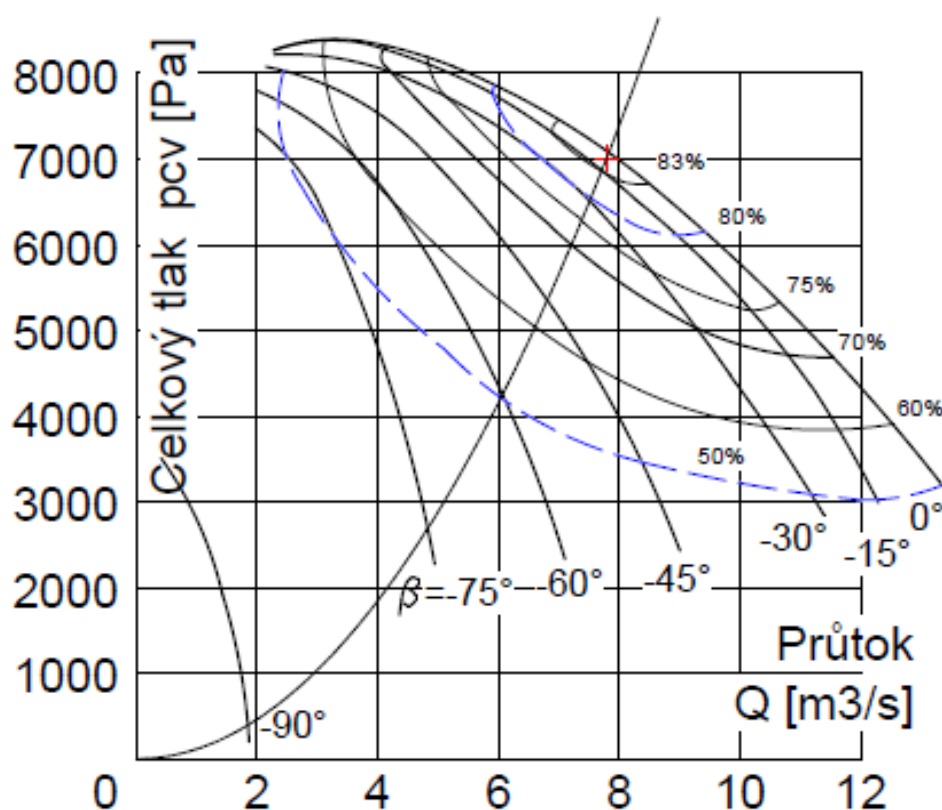
průměr ventilátoru 900 mm

otáčky oběžného kola 2975 ot/min

objemový průtok média $7,79 \text{ m}^3/\text{s}$

účinnost ventilátoru 83%

Katalogový list spalínového ventilátoru je v příloze C



Obr. 11 Výkonová charakteristika spalínového ventilátoru RVM 900-5/1.00-2975 PM123334

7. KOMÍN

Provedení komínu je třídlílné. Jeho vnitřní průměr je 0,2 m. Celková výška je 20 m. Je vyroben z odolného materiálu odolávající působení spalin. Dále tepelnou izolací a nosným ocelovým pláštěm. Do betonového bloku je kotven pomocí kotevního roštu.

8. REGULACE

Dávkování sorbentu je regulováno podle měření množství spalin. Teplota spalin na výstupu nesmí klesnout pod teplotu rosného bodu. Pokud dojde k poklesu teploty pod kritickou mez, spustí se pomocný hořák. Regulace podtlaku se provádí pomocí regulační klapky. Klapka je umístěna kouřovodu před spalinovým ventilátorem.

9. ZÁVĚR

V diplomové práci jsem vypracovala návrh zařízení na vypírku spalin pro spalovnu nemocničního odpadu. Tento ekoblok se sestává z dvoustupňového rozprašovacího absorbéru, filtru, spalinového ventilátoru a komína.

V úvodu jsem popsala nežádoucí látky, které vznikají při spalování nemocničního odpadu. Pak jsem rozdělila metody čištění spalin na suchou, polosuchou a mokrou metodu.

V této práci popisuji polosuchou metodu čištění spalin. Znečištěné spaliny jsou ochlazeny ve výměníku na 250°C. Absorbér je dvoustupňový. Dojde k rozprášení vápenného mléka do proudu spalin. Dokonalé rozprášení zajistí tři trysky. Rychlost kapek na výstupu z trysky je 118 m/s. Kapky se smíchají s horkými spalinami. Dojde k absorpci SO₂, HCl, HF, a k vypaření kapek. Návrh rozprašovacího absorbéru je proveden tak, aby nedošlo tvorbě nánosů na stěnách a bylo zajištěno vypaření sorbentu. Setrvání spalin v absorbéru je 12,6 s. Množství spalin vstupující do absorbéru je 7,79 m/s. Sorbent je připravován v míchací nádrži. Do trysek je sorbent dopravován pomocí čerpadel.

Dále pak sorbent se spalinami proudí do filtru EFP-1-3,5-286-D6. Vyčištěné spaliny jdou přes spalinový ventilátor RVM 900-5/1.00-2975 PM123334 a do komína.

V diplomové práci jsem navrhla dvoustupňový rozprašovací absorbér, filtr a spalinový ventilátor. Tato technologie je navržena pro spalovnu nemocničních odpadů.

Chtěla bych poděkovat vedoucímu diplomové práce prof. Ing. P. Kolatovi, DrSc. za cenné rady, studijní materiály, čas a připomínky, které mi při zpracování diplomové práce pomohly.

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Rédr, M., Příhoda, M.: Základy tepelné techniky, SNTL Praha 1991
2. Černý, V., Janeba, B.: Parní kotle SNTL 1983
3. Hašek, P.: Tabulky pro tepelnou techniku, Ostrava 1980
4. Toman, Z.: Tepelně technické výpočty, Ostrava 1983
5. Kolát, P.: Odborný posudek na pračky spalín, Ostrava 2002
6. Juchelková, D.: Odpady, vedlejší produkty a nakládání s nimi, Ostrava 2005
7. Zákon č. 86/2002 O ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami
8. Prospekt firmy Belco: <http://www.belcotech.com/products/semidry.html>
9. Technická zpráva firmy: JUNO-Eco
10. Katalogový list firmy ZVVZ, a.s, Milevsko: <http://www.zvvz.cz/zvvz-enven.html>
11. Obroučka, K., Termické zneškodňování odpadů, Ostrava 1997

11. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Schéma zařízení pro odsiřování spalin

Příloha B Katalogový list látkového filtru

Příloha C Charakteristika spalínového ventilátoru

Výkres č. KC-0-001-11 Ekoblok

Výkres č. KC-2-001-1-11 Tryska

Kompaktní disk CD